



**Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici  
Università degli Studi di Genova**

# **Il tratto cervicale: Quali prospettive per la ricerca?**

di

**Frank Musarra**

Anno Accademico 2004-2005

# **Il tratto cervicale: Quali prospettive per la ricerca?**

## 1. Introduzione

- L'obiettivo di questa tesi è quello d'identificare una proposta di ricerca riguardante l'ambito muscoloscheletrico e in particolare il tratto cervicale. Nell'intento di scrivere un testo conciso e concreto preferisco evitare l'approfondimento degli aspetti neurofisiologici e muscoloscheletrici, che sono alla base della proposta. Di recente la ricerca in ambito muscoloscheletrico ha riposto molta attenzione alla qualità del movimento, del controllo motorio durante un gesto ed al controllo posturale. Il controllo motorio indica la modalità di attivazione muscolare di un determinato distretto durante un movimento, mentre il controllo posturale esprime le modalità motorie per mantenere la postura eretta <sup>6</sup>. S'ipotizza infatti che l'alterazione delle modalità di attivazione muscolare induca ad episodi recidivanti<sup>31</sup>. Il distretto cervicale non è stato ancora analizzato a fondo sotto questo punto di vista. Il gruppo Australiano di Gwen Jull ha intrapreso di recente un percorso di ricerca con l'obiettivo principale di comprendere il controllo motorio in questa regione e la modificazione in presenza di disordini muscoloscheletrici <sup>33 ,40 ,41 , 43 ,45, 46</sup>. Si concentrano soprattutto sui flessori profondi del collo, che ritengono essere dei muscoli stabilizzatori locali responsabili del controllo intrinseco delle vertebre durante il movimento del collo. Tuttavia, uno dei limiti della loro proposta è la scelta di occuparsi principalmente di questi muscoli, non considerandone altri come i sovra e sotto iodei o i muscoli sotto-occipitali. Di recente hanno comunque iniziato, insieme al Prof. Merletti, ad analizzare dal punto di vista elettromiografico, il ruolo dei muscoli sotto-occipitali <sup>47</sup>

- **Altri aspetti** strettamente correlati al controllo motorio, ma non presi in considerazione dal gruppo australiano, sono la comprensione del ruolo del distretto cervicale nel controllo posturale della persona ed il ruolo della propriocezione cervicale nello stesso. In base alla letteratura che affronteremo in seguito, possiamo ipotizzare che le modificazioni indotte

da un trauma da contraccolpo o da un dolore cervicale possano influenzare il controllo motorio cervicale, il controllo posturale e il controllo motorio nel distretto lombare. Sembra che le afferenze propriocettive giochino un ruolo determinante nelle scelte fatte dal Sistema Nervoso Centrale (SNC). **Ritengo che questi argomenti possano essere dei topics estremamente importanti da approfondire nella nostra progettazione di ricerca, non dimenticando i campi d'interesse già sviluppati dall'Università di Brussel.** Il gruppo di Brussel ha il merito di essere all'avanguardia negli studi di anatomia e biomeccanica applicata, che ci permettono di comprendere meglio i movimenti artrocinematici presenti durante il movimento di un distretto. Il legame fra questi due filoni di ricerca, apparentemente lontani, potrebbe essere proprio quello della comprensione della modalità di movimento. Se l'ipotesi iniziale era il legame fra la modalità di attivazione muscolare e la presenza di un disordine articolare, credo che sia ancora più importante misurare questa modificazione attraverso un'analisi artrocinematica. Gli studi Australiani parlano di instabilità articolare senza definire i cambiamenti artrocinematici correlati ad essa. Baeyens <sup>7</sup> ha dimostrato una modificazione della componente traslatoria nella spalla in pazienti con instabilità legamentosa ( abd +rot est. = Tras posteriore dell'omero sulla glena / Con una instabilità anteriore la traslazione diventa anteriore). Possiamo ipotizzare che una variazione dell'attivazione induca ugualmente una modificazione? In un recente incontro, il Prof. Baeyens ha analizzato la stabilità articolare dal punto di vista biomeccanico, osservando che i legamenti ricoprono un ruolo di guida, specie nelle posizioni più estreme del range di movimento <sup>7</sup>. Cosa accade nello spazio intermedio dove l'attivazione muscolare ha un ruolo principale nella stabilizzazione di un'articolazione? **Rispondere a questa domanda che analizza le modificazioni artrocinematiche rispetto a quelle dell'attivazione muscolare, del controllo motorio e/o del controllo posturale, in presenza di un disordine non-traumatico o traumatico come un trauma da contraccolpo, ci permetterebbe di acquisire delle nozioni importanti per la programmazione del nostro protocollo riabilitativo.**

- In questa tesi cercherò di approfondire diversi topics, con l'obiettivo di chiarire il punto di partenza delle varie proposte di ricerca, augurandomi che questo serva come

punto di partenza per il futuro sviluppo di un progetto di ricerca in ambito muscoloscheletrico, in collaborazione con l'Università di Leuven e Brussel.

## 1. Il controllo posturale

- La comprensione del controllo posturale è fondamentale per l'approccio muscoloscheletrico, perché ci permette di comprendere meglio l'organizzazione del movimento <sup>8</sup>. Alcuni studi recenti, ci hanno allontanato dall'ipotesi che l'organizzazione del movimento fosse unicamente basata sui riflessi motori e ci hanno fatto comprendere che il controllo è un'attività gesto-specifica, organizzata centralmente <sup>8</sup>. Questo significa che l'approccio terapeutico non può essere limitato a facilitare un set fisso di riflessi, ma che esso deve promuovere l'apprendimento motorio. Nell'ambito, ad esempio, della prevenzione di traumi da cadute nella popolazione di anziani, gli esercizi di equilibrio gesto-specifico sembrano essere fondamentali. **Questo campo apre un altro importante spazio di ricerca per nostro gruppo, considerando che il tasso di invecchiamento della popolazione è in continua crescita.**

- L'equilibrio posturale può essere definito come: la condizione in cui le forze, che agiscono sul corpo, si bilanciano garantendo, durante la posizione eretta o durante i movimenti, un equilibrio corporeo funzionale. Il centro della massa corporea viene controllato in riferimento alla base di supporto <sup>8</sup>. Il corpo viene destabilizzato continuamente: dalla forza di gravità, da altre forze dell'ambiente che lo circondano e dalle forze corporee intrinseche al movimento. Il SNC deve percepire e prevedere queste forze, attuando delle contrazioni muscolari adeguate <sup>8</sup>. Il controllo dell'equilibrio nello spazio viene gestito dal sistema visivo, dal sistema vestibolare e dal sistema propriocettivo. L'orientamento della persona nello spazio è una esigenza fondamentale per la sopravvivenza. I tre sistemi aiutano il cervello ad interagire con il mondo che lo circonda. La triade è fondamentale per garantire un controllo efficiente in tutte le situazioni possibili, ma ha bisogno di una sintonia tra le informazioni afferenti che arrivano al cervello. Ogni sistema, inoltre, possiede una sua propria caratteristica che lo rende più efficace, o meno, in certe situazioni. Il sistema vestibolare, che

registra le accelerazioni del corpo nello spazio, possiede una soglia di stimolo troppo alta per le piccole variazioni posturali, mentre è fondamentale per l'orientamento nello spazio rispetto alla terra <sup>9</sup>. Il sistema propriocettivo permette, invece, di registrare i piccoli movimenti e le variazioni di posizione del movimento, fornendo al SNC, soprattutto durante i movimenti veloci, le informazioni spaziotemporali dei diversi arti. Il sistema visivo gioca un ruolo fondamentale nella percezione dei piccoli movimenti e registra l'orizzontalità della testa rispetto al corpo. Se, ad esempio, una persona si trova davanti ad una parete, che improvvisamente viene spostata da una parte, tenderà a cadere verso l'altra parte. Per garantire una buona sintonia, i diversi sistemi interagiscono tra loro in modo primario, attraverso diversi riflessi, come ad esempio: il riflesso vestibolo-oculare, il riflesso vestibolo-posturale ed il riflesso cervico-oculare. Il controllo posturale, invece, viene gestito attraverso dei pattern flessibili di contrazioni muscolari sinergiche, che vengono costruite e adattate attraverso l'apprendimento. In letteratura, sono state definite varie strategie posturali, come la Caviglia-guidata o l'Anca-guidata. Il cervello possiede la capacità di focalizzarsi verso una strategia piuttosto che verso un'altra, se ritiene che ciò sia necessario per raggiungere lo scopo finale. Il controllo posturale è quindi un'espressione del sistema nervoso che, basandosi sulle informazioni afferenti, produce un'attivazione motoria che garantisce l'equilibrio durante i movimenti quotidiani o sport-specifici. Dei tre sistemi di afferenza, il sistema propriocettivo è quello con il quale il fisioterapista si confronta maggiormente. Il cervello possiede degli schemi motori con dei quadri di riferimento, dei modelli dinamici e delle strategie di movimento, che gli consentono di produrre una sequenza muscolare adatta ad ogni situazione. E' importante notare che il cervello utilizza un sistema di feedback per valutare il risultato ottenuto. Di recente, il meccanismo indicato è un feedback interno, che permette al cervello di confrontare in modo efficace le informazioni rilevanti provenienti dalla periferia con le aspettative interne. Questo sistema si basa su un quadro di riferimento corporeo interno, che definisce i vari parametri spaziotemporali necessari per l'esecuzione del movimento. La memorizzazione dei parametri spaziotemporali permette di correggere successivamente il gesto. Nell'automatizzazione del gesto è importante il ruolo che possiedono i nuclei basali (regolatori dell'ampiezza del movimento) ed il cervelletto (iniziatore e timing), quest'ultimo incamerando le sequenze di movimento, funziona da controllore nell'esecuzione del gesto. I

pazienti che possiedono una patologia nel cervelletto hanno infatti difficoltà ad eseguire dei gesti veloci e automatizzati.

La propriocezione informa quindi il SNC sui parametri spaziotemporali dei diversi arti, come ad esempio la posizione degli arti nello spazio, la percezione del movimento, la velocità dello spostamento degli arti, la percezione dello sforzo eseguito, il timing muscolare e la quantità di forza prodotta <sup>9</sup>.

E' necessario puntualizzare che il sistema propriocettivo e il cervello non interagiscono unicamente dalla periferia verso il centro, ma che il cervello possiede una sensibilità propriocettiva <sup>11</sup>. In altri termini, il SNC è capace di focalizzare l'attenzione maggiormente sulle afferenze di un distretto rispetto ad un altro. A tutti è chiaro che possiamo raccogliere un foglio per terra attraverso diverse sequenze motorie. Il cervello cercherà, attraverso delle strategie spazio-temporali predefinite, di ottenere questo risultato con la maggiore efficienza e con il minore dispendio d'energia. Questa scelta non dipende unicamente da questi due parametri, ma da una grossa quantità di variabili, che influiscono sulla definitiva espressione motoria. La propriocezione, intesa come "acuity" (senso di posizione), ha una sua rilevanza, ma anche i fattori di carattere psicologico, come la motivazione, la concentrazione e la paura. Anche il dolore sembra essere un fattore decisivo. Lund <sup>35</sup> propone, infatti, il modello di adattamento al dolore per comprendere meglio queste modificazioni motorie. Egli ritiene che il dolore produca un adattamento comportamentale, che è alla base delle modificazioni degli schemi motori e delle sue strategie <sup>6, 10</sup>. Di recente, si è ritenuto che le modalità di attivazione muscolari per il controllo posturale dipendano anche dalle informazioni propriocettive cercate dal SNC per compiere il gesto e che egli ritiene affidabile. A conferma di questa ipotesi Brumagne <sup>11</sup>, realizzando una ricerca su un gruppo di persone anziane e di persone con lowback pain, utilizzando la vibrazione muscolare e una pedana stabilometrica, dimostra che le informazioni propriocettive utilizzate variano con le persone sane. La modalità dell'output motorio centrale, durante il controllo posturale, non sembra essere determinata dall'acuity, ma piuttosto dalle modalità d'integrazione centrale. Egli ipotizza che una lombalgia recidivante possa essere legata a una strategia posturale, in conseguenza della quale il SNC sceglie il controllo dai piedi (Inverted pendle model) con una maggiore rigidità lombare.

La modalità di ricerca per le modificazioni della sensibilità propriocettiva può essere valutata attraverso un sistema di vibrazione muscolare e una pedana stabilometrica, che registra le modificazioni prodotte dallo stimolo. Maggiori sono le modificazioni sulla pedana stabilometrica, quando vibra un determinato muscolo, maggiore è l'utilizzo da parte del SNC di quelle informazioni propriocettive provenienti dai fusi motori stimolati.

## 2. La propiocezione del tratto cervicale ed il controllo posturale

- La propiocezione, proveniente dai fusi motori dei muscoli del collo, gioca un ruolo molto importante nel controllo posturale della persona. Per meglio comprendere questa discussione credo che sia rilevante partire dalla ricerca svolta da diversi centri universitari <sup>12</sup>. In questo studio sono stati individuati due livelli di organizzazione cerebrale per il controllo posturale.

Il primo livello coinvolge la generazione di pattern direzioni-specifiche, che si basano sulle informazioni propriocettive dell'anca e del tronco e in modo secondario sull'input vestibolare. Il primo livello definisce quindi le caratteristiche spaziotemporali delle attivazioni muscolari.

Il secondo livello modella il pattern primario attraverso le ulteriori informazioni propriocettive, provenienti da tutto il corpo e dai sensori vestibolari, in modo d'adattare il movimento ai differenti compiti e condizioni. Questo dato delucida l'organizzazione centrale del sistema nervoso, nel quale il tratto cervicale possiede, come quello lombare, un ruolo fondamentale nel controllo della postura. Quest'ipotesi è condivisa dalla maggioranza degli autori <sup>13, 14, 15</sup>. E' d'uopo notare che altri autori tendono ad ipotizzare un SNC che mantenga l'equilibrio nello spazio, principalmente attraverso il controllo dei piedi sulla superficie d'appoggio <sup>16, 17</sup>. Essi parlano del modello del "pendolo invertito" per definire questo concetto. Molto probabilmente il SNC possiede, come indicato da Brumagne e. a. <sup>12</sup>, la capacità di focalizzare l'attenzione su diversi distretti. La capacità di adattamento del SNC viene confermata anche dalla ricerca di Ko e.a. <sup>18</sup> che diversificano differenti strategie posturali: la modalità rigida, la modalità caviglia-guidata, la modalità caviglia-anca-guidata e la modalità anca-ginocchio-guidata. Henry e. a. <sup>19</sup> dimostrano una maggiore attività elettromiografica (EMG) nei muscoli prossimali, rispetto a quelli distali, nel mantenere la posizione eretta durante le traslazioni multi-direzionali della superficie d'appoggio. Sulla base di questi risultati essi ipotizzano un controllo centrale delle

sinergie muscolari. La propriocezione cervicale è una afferenza importante per il controllo posturale. Essa serve per differenziare la posizione della testa rispetto al corpo. Le informazioni vestibolari o visive devono essere quindi integrate da queste afferenze per orientarsi in modo efficace. Taylor e. a. <sup>20</sup> dimostrano che la vibrazione dei muscoli estensori del collo crea l'illusione del movimento del capo e lo spostamento sempre illusorio del target visivo. Anche Karnath e. a. <sup>21</sup> concludono, vibrando i muscoli cervicali, che l'informazione propriocettiva possiede un effetto continuativo sulla vista. Biguer e. a. <sup>22</sup>, d'altro canto, indicano che la propriocezione cervicale è capace d'influenzare centralmente l'interpretazione dell'orientamento dello sguardo visivo e la sua velocità di spostamento. Le afferenze propriocettive sono quindi fondamentali per il controllo posturale e partecipano alla coordinazione fra corpo e testa. Queste informazioni sembrano essere incorporate nello schema corporeo globale <sup>23, 24</sup>. Bove e.a. <sup>25</sup> dimostrano inoltre che la propriocezione cervicale orienta il corpo durante la deambulazione. Molto è stato detto e diversi sono i gruppi di ricerca che si sono impegnati a comprendere le modalità di gestione delle attivazioni motorie e del controllo posturale, fra cui anche **il dipartimento di medicina sperimentale: sezione fisiologia umana dell'Università di Genova**. Questo gruppo ha pubblicato di recente un articolo, dove viene analizzato l'effetto di una vibrazione muscolare al collo nei pazienti con distonia cervicale, rispetto ad un gruppo di controllo sano. Le informazioni propriocettive provenienti da quell'aria sono in relazione ad un quadro di riferimento egocentrico<sup>48</sup>. Il nostro compito è quello di applicare le conoscenze della neurofisiologia sulle problematiche del sistema muscoloscheletrico e sulle problematiche funzionali che questo sistema incontra, rendendo le nozioni applicabili in ambito riabilitativo. Nell'analisi di queste problematiche prenderò in esame l'influenza del dolore dopo aver chiarito la relazione fra il controllo motorio e quello posturale.

### 3. Il controllo posturale ed il controllo motorio

- Abbiamo detto che il controllo posturale utilizza dei pattern di contrazioni sinergiche apprese attraverso l'esperienza e l'apprendimento, che il SNC possiede diverse strategie per eseguire

tale compito e che anche quest'ultime si basano su uno schema motorio appreso nel tempo. Inoltre, queste strategie sono flessibili e il SNC ha la capacità di focalizzarsi sulle afferenze di un distretto rispetto ad un altro. Il controllo posturale è l'espressione di un sistema flessibile che interagisce con il mondo esterno attraverso le informazioni visive, vestibolari e propriocettive, adattando le attivazioni muscolari in base all'esigenza. L'informazione propriocettiva proveniente dai fusi motori dei muscoli è un'importante fonte d'informazione per l'apprendimento motorio. L'attivazione di determinati muscoli viene decisa, oltre che per scopi gesto-specifici, anche per procurare al sistema nervoso il feedback necessario a guidare il movimento e a programmare le strategie successive <sup>25, 26, 27, 29</sup>

- Il controllo motorio, termine utilizzato da Panjabi <sup>30</sup> per indicare la stabilità dinamica segmentale a livello di distretto articolare, viene definito come "la capacità da parte del sistema neurologico di coordinare l'attività muscolare". Richardson e.a. <sup>31</sup> hanno individuato dei muscoli stabilizzatori responsabili del centraggio dell'articolazione, mentre altri muscoli sono responsabili della produzione del movimento angolare. Essi sostengono che qualsiasi movimento debba essere anticipato dalla contrazione dei muscoli stabilizzatori, che permettono di proteggere e guidare il distretto articolare durante il movimento. Il controllo motorio sembra basarsi sugli schemi motori e sulle strategie di movimento, già indicate precedentemente per la postura. Il SNC ha il compito di mantenere l'equilibrio corporeo durante i movimenti angolari e deve garantire anche un corretto equilibrio intra-articolare. Questo approccio pone al centro il distretto articolare, stabilizzato dal SNC attraverso una strategia motoria. Le persone con dolori lombari perdono questa capacità di controllo e vanno incontro a possibili recidive. E' stato dimostrato che la modalità di contrazione alterata persiste anche dopo l'episodio doloroso <sup>31, 32</sup>. Nelle discussioni precedenti, invece, al centro della discussione sono state messe le modalità attraverso le quali il SNC esegue il controllo posturale. Brumagne e.a. <sup>11</sup> ipotizzano che il SNC abbia scelto d'irrigidire il tratto lombare per la paura del dolore e per la minore affidabilità delle informazioni propriocettive provenienti da quel distretto e definisce questo fenomeno la sensibilità propriocettiva del SNC. La strategia di movimento viene, sempre secondo Brumagne e.a. <sup>11</sup>, anche decisa in base alle informazioni propriocettive ritenute affidabili dal SNC. Il distretto, che presenta un dolore o un disordine, viene coinvolto in modo minore nel controllo posturale e la sua strategia di movimento

sembra, collegando questa ipotesi a quelle del gruppo Australiano, compromettere la stabilità intrinseca del segmento articolare (Controllo motorio). La zona più rigida limita l'afflusso di afferenze dal tratto lesionato, amplificandone altre e creando una modalità di attivazione motoria che, per il tratto lombare, potrebbe portare in futuro a delle recidive <sup>6, 33</sup>. La relazione fra la propriocezione ed il dolore non è ancora completamente chiara visto che alcuni autori <sup>35</sup> riferiscono una diminuzione della soglia di stimolazione dei recettori propriocettivi, mentre altri riferiscono un aumento <sup>28, 32</sup> e altri ancora nessun cambiamento periferico <sup>36</sup>. L'ipotesi più recente è quella basata sul "Pain adaptation model" di Lund, che ipotizza un adattamento centrale <sup>10, 6, 32</sup>. La definizione della relazione tra lo stimolo nocicettivo e la propriocezione cervicale è una tematica che necessita di un ulteriore approfondimento che verrà discusso nel paragrafo successivo.

#### 4. L'influenza del dolore sul controllo posturale e motorio

- Comprendere l'effetto del dolore sul controllo posturale e sul controllo motorio è fondamentale per rendere queste nozioni utilizzabili nel campo riabilitativo. Per il momento sappiamo che il dolore è una percezione che non si limita allo stimolo nocicettivo. A questo riguardo la letteratura ci supporta con due modelli: "il modello del circolo vizioso" <sup>34</sup> e "il modello di adattamento al dolore" di Lund <sup>35</sup>. Le ricerche svolte dal gruppo Australiano <sup>10</sup> sul dolore lombare hanno portato all'elaborazione di un modello aggiuntivo "il modello dell'attivazione neuromuscolare", dove il SNC ricopre un ruolo centrale. Nel primo modello s'ipotizza un aumento dell'eccitazione nel sistema neuromuscolare, che induce un aumento del tono muscolare <sup>6</sup>. Su questa ipotesi si basa, ad esempio, la teoria dei triggerpoint, che considera l'aumento della tensione muscolare come la conseguenza del dolore, che a sua volta provoca un disordine muscolare <sup>10</sup>. Questa ipotesi fu messa in dubbio inizialmente da Lund <sup>35</sup>, che la rifiutò, in quanto l'attività EMG non aumentava in tutti i muscoli in presenza di dolore. Così egli propose il modello di adattamento al dolore che ipotizza che, in presenza di dolore, il sistema nervoso modifica l'attività muscolare per proteggere quel distretto. Altri autori <sup>36, 37</sup>, infatti, non hanno individuato nessuna variazione dell'eccitabilità del

motoneurone o della corteggia motoria, concludendo che le modifiche avvengono piuttosto a livello della pianificazione del movimento. Il gruppo di Arendt-Nielsen <sup>38</sup> ha sviluppato diverse ricerche, utilizzando l'induzione sperimentale del dolore, che supportano l'ipotesi di Lund <sup>35</sup> e dimostrano, ad esempio, una modificazione dell'attività muscolare nel distretto lombare durante la deambulazione <sup>38</sup>. Questo modello, secondo Sterling e. a. <sup>10</sup> non spiega sufficientemente le modificazioni indotte da dolori acuti, presentando dei limiti alle modificazioni in presenza di un dolore cronico. Hodges e. a. <sup>6, 32</sup> ritengono che le modificazioni della strategia di movimento siano legate soprattutto: all'influenza diretta del dolore sugli schemi motori, alla pianificazione del movimento e dei centri motori, all'alterazione dell'input propriocettivo della zona, alle modifiche indotte dall'interazione dello stimolo nocicettivo con la paura al dolore, allo stress e all'attenzione della persona <sup>6, 32</sup>. Sterling e.a. <sup>10</sup> avevano proposto, in precedenza, il modello di attivazione neuromuscolare che si focalizzava soprattutto sulla ricerca, proposta dal medesimo gruppo, riguardante i dolori lombari, cercando di spiegare come il dolore provochi una modificazione nel controllo motorio del distretto che sta alla base di una instabilità articolare. L'ipotesi di Hodges <sup>32</sup>, partendo da una letteratura più ampia, tende ad essere meno condizionata dalla necessità di definire un modello che spieghi le variazioni motorie per giustificare la proposta riabilitativa per il mal di schiena e tende ad interpretare più globalmente il problema.

- Hodges e.a. <sup>6</sup> e Brumagne e.a. <sup>12</sup> si differenziano invece dal ruolo dato alla propriocezione. Hodges e.a. <sup>6</sup> ipotizza infatti che il dolore possa modificare l'afferenza propriocettiva in periferia, mentre Brumagne e.a. <sup>12</sup> ipotizzano che questa alterazione propriocettiva periferica sia causata dalla modificazione centrale della strategia di movimento per il controllo posturale e motorio. Questa ipotesi ci porta verso un modello interpretativo del controllo motorio nel quale il SNC è estremamente flessibile nello scegliere la strategia motoria, che dipende, a sua volta, da tante variabili. La scelta da parte del SNC di utilizzare una strategia piede-guidata per il controllo posturale nelle persone con lombalgia, può risultare efficace in fase acuta. Qualora la modalità d'attivazione motoria si mantenga nel tempo perché inserita nello schema motorio, questa strategia può essere frutto di recidive in futuro <sup>39</sup>.
- In conclusione possiamo dire che il dolore è un aspetto fondamentale nell'interpretazione di un quadro clinico, che in letteratura ci sono diversi modelli che tendono a spiegare la

relazione fra il dolore e l'attività motoria e che la comprensione dell'interazione fra il dolore e la propriocezione è ancora in piena discussione. **Ritengo che un ulteriore argomento da prendere sotto esame, in un eventuale progetto di ricerca, sia la modificazione propriocettiva in relazione alla presenza di dolore nel tratto cervicale. Valutare, cioè, se questa modificazione della sensitività propriocettiva proposta da Brumagne a livello lombare si presenti anche a livello cervicale.**

**Le domande che chiedono risposte sono:**

- **Qual'è la modificazione posturale in fase acuta?**
  - **Quale informazione utilizza il SNC?**
  - **Cosa succede in fase cronica?**
  - **Quale tipo di attivazioni muscolari vengono adottate a livello cervicale in caso di dolore?**
  - **Che relazione esiste con la schiena?**
- Quest'ultima domanda ha guadagnato un certo interesse alla luce dell'articolo pubblicato di recente da Moseley in *Manual Therapy* <sup>1</sup>. Egli ha ipotizzato che i dolori cervicali possano compromettere, oltre che il controllo motorio cervicale, anche quello lombare, definendo un episodio di mal di collo come fattore di rischio intrinseco per un futuro mal di schiena. Per dimostrare questa ipotesi egli ha analizzato in modo prospettico un gruppo di pazienti aventi dolori cervicali dimostrando che, le persone non capaci di attivare in modo idoneo i muscoli lombari profondi erano più soggette ad episodi di mal di schiena negli anni successivi. Questo articolo è un primo tentativo di cercare una relazione fra questi due distretti dal punto di vista funzionale. E' comunque necessario osservare che la metodologia applicata in questa ricerca è soggetta a critiche. I criteri di inclusione ed esclusione non credo siano sufficienti per permettere di escludere dei precedenti problemi alla schiena. Inoltre non vengono controllate le variabili che potrebbero indurre sia un episodio di mal di schiena sia di collo, come ad esempio, certe abitudini di vita, certi lavori. Il gruppo di controllo ( persone senza un episodio di dolore cervicale) con una incapacità di contrarre i muscoli lombari profondi (15% del gruppo di controllo) mostravano un rischio simile di andare incontro ad un episodio di mal di schiena come le persone con dolori cervicali. A mio avviso, questo indica che il fattore rilevante potrebbe non essere il mal di collo. Credo che sia **interessante valutare se esista**

**una differenza fra pazienti con dolori cervicali e una normale o anormale capacità di contrarre i muscoli stabilizzatori del collo (proposta di ricerca). Se ipotizziamo, in base ai punti discussi in precedenza, che un episodio di dolore cervicale possa indurre una modificazione della strategia motoria e, come nel lombalgico cronico, renda il rachide più rigido a causa dell'utilizzo di una strategia piede-guidato, allora è lecito pensare che questa modificazione possa giocare un ruolo rilevante nella cronicizzazione della sintomatologia associata al colpo di frusta. L'analisi delle modificazioni posturali potrebbe aiutarci a comprendere la presenza o meno di una relazione fra i due distretti, ipotizzando eventualmente una relazione fra la strategia motoria del collo e della schiena. Questa proposta di ricerca è facile da realizzare a Leuven visto che Brumagne sta lavorando proprio in questa direzione.**

## **5. Il controllo motorio nel tratto cervicale**

Ultimamente, il controllo motorio nel tratto cervicale è un argomento molto visitato in letteratura. Il gruppo di Gwen Jull ha di recente intrapreso un percorso di ricerca rivolto alla comprensione delle modalità di attivazione muscolare per garantire, nel tratto cervicale, una buona stabilità articolare e un buon controllo motorio. Ritengono che i flessori profondi siano i muscoli più rilevanti per il controllo della stabilità motoria e che questi ricoprano un simile ruolo con i trasversi addominali nel tratto lombare. A dimostrazione di ciò sono state realizzate delle ricerche a vari livelli. A livello anatomo-istologico, Boyd-Clark e.a. hanno analizzato la morfologia, la distribuzione e la densità dei fusi motori nei M. Longus colli e multifidi del collo, su 16 cadaveri di diversa età, concludendo che esse non dipendono dall'età. La densità dei fusi motori è maggiormente concentrata nel M. Longus colli lontano ed anteriormente alle vertebre, mentre nel M. Multifidus è soprattutto concentrata vicino alle lamine vertebrali <sup>40</sup>. In un'altra ricerca, gli stessi autori osservano, nel M. Multifidus fra C5 e C7, la prevalenza di fibre di tipo I rispetto alle fibre di tipo II, mentre è poco accentuata nel M. Longus colli. Entrambe le distribuzioni non si modificano con l'età. Alla luce della lezione magistrale di Ivan Bautmans <sup>42</sup> a Savona, l'ultimo riscontro è alquanto inaspettato, dato che con il processo naturale d'invecchiamento la denervazione del muscolo induce la prevalenza

di fibre di tipo I <sup>2</sup>. Gli autori appena citati concludono che il M. multifidus possiede principalmente una funzione posturale, mentre il M. longus colli è anche fasico.

Falla e.a. <sup>43</sup> hanno dimostrato che questi muscoli si attivano in modo anticipatorio rispetto agli altri muscoli e che in una situazione di dolore cervicale tendono ad essere inibiti. Sulla base di questi risultati hanno proposto l'ipotesi che la corretta attivazione muscolare nel collo sia caratterizzata da una contrazione anticipatoria dei flessori profondi del collo e che, inoltre, giochino un ruolo fondamentale nel controllo della lordosi del tratto cervicale. Mi sono posto le seguenti domande, dopo uno scambio d'idee con M. Testa:

- E' possibile che questi muscoli siano capaci di adempiere questo ruolo da soli?
- Che ruolo possono avere i Muscoli sotto-occipitali e i Muscoli sovra e sotto-iodici nel controllo motorio del tratto cervicale? Una prima risposta potremmo trovarla nell'ultima ricerca realizzata da Gwen Jull con il gruppo di Merletti di Torino, che dimostrano che i Muscoli sternocleidomastoidei e i muscoli estensori del collo si attivano in co-contrazione e in modo anticipatorio rispetto al deltoideo, durante i movimenti del braccio. Hanno ipotizzato che questa co-contrazione serva per stabilizzare il collo e per creare stabilità per l'apparato visivo e vestibolare prima di attivare il movimento nel braccio <sup>47</sup>.

Quanto detto aprirebbe un altro spazio di ricerca da confrontare con i lavori prodotti da questi ricercatori al fine di comprendere meglio l'attività motoria del distretto. Personalmente voglio aggiungere che ritengo sia più idoneo intraprendere un progetto di ricerca che tenga conto anche delle osservazioni fatte in precedenza e che ipotizza il ruolo centrale nel controllo motorio del SNC, il quale sceglie le informazioni propriocettive importanti per funzionare in modo adeguato, ricercando, attraverso il movimento, le informazioni rilevanti per eseguire in modo efficace un gesto motorio. Mi sembra fondamentale inserire nel progetto di ricerca l'analisi delle modificazioni del controllo posturale, in relazione ai diversi muscoli. Potrebbe, ad esempio, essere interessante vedere cosa succede quando andiamo a stimolare, attraverso delle vibrazioni, i muscoli sovra-iodici, sotto-iodici e sotto-occipitali in persone sane e sofferenti di dolori cervicali, permettendo di comprendere il loro ruolo nel controllo posturale.

## 6. Le modificazioni indotte dal colpo di frusta

I sintomi associati al colpo di frusta sono un argomento di grande interesse socio-economico ed è, a mio avviso, il disordine più interessante da includere nel progetto di ricerca, rendendolo appetibile per la nostra categoria e per eventuali finanziamenti nazionali o comunitari. Un problema importante del progettare la ricerca in questa direzione è quello di controllare le diverse variabili che entrano in gioco. Aspetti, ad esempio, come il *dizziness* vanno controllati in modo adeguato ed i pazienti devono essere classificati in modo chiaro, onde evitare dei risultati poco affidabili a causa dell'insufficiente definizione dei criteri di inclusione ed esclusione. Importante diventerà anche confrontare i pazienti acuti da quelli cronici per comprendere il peso che queste modifiche hanno sull'evoluzione dei sintomi associati al colpo di frusta.

Un altro campo potrebbe essere il dolore cervicale aspecifico. Credo però che quest'ultimo sia un disordine meno definito e per questo soggetto a variabili poco definite. Il vantaggio di studiare questo tipo di disordine è la minore complessità e variabilità espressiva, che permetterebbe di confrontare meglio la sintomatologia cronica ed acuta. I sintomi associati al colpo di frusta sono invece molteplici, ma definiti in modo più preciso dalla letteratura esistente. La classificazione dei sintomi associati al colpo di frusta proposta dalla linea guida Olandese prevede, in riferimento alla Quebec Task force, i seguenti gradi: 0= nessun disturbo, nessun segno fisico; 1= dolore, rigidità e fastidio nel collo senza segni clinici; 2= dolori cervicali e altri fastidi di origine muscoloscheletrica (come una diminuzione del ROM); 3= dolori cervicali e segni neurologici (diminuzione del riflesso, debolezza muscolare e deficit sensorio); 4= dolori cervicali e fratture o dislocazioni.

In tutti i gradi di severità, inoltre, possano essere presenti altri sintomi come: diminuzione dell'udito, *dizziness*, *tinnitus*, mal di testa, perdita di memoria, disfagia o dolori temperomandibolari <sup>3</sup>. Le stesse linee guida individuano anche dei fattori prognostici personali e fattori legati all'incidente stesso non favorevoli al recupero.

In seguito al colpo di frusta la letteratura ha già evidenziato un deficit a livello propriocettivo <sup>4, 5, 44, 49</sup>. Questi articoli si sono prevalentemente concentrati sul disordine

propriocezionale indotto dal colpo di frusta a livello del collo. Noi crediamo sia ancora più rilevante comprendere che cosa avvenga dal punto di vista dell'integrazione di questi dati a livello centrale e quale sia l'impatto sul controllo posturale globale e sul controllo motorio del collo. E' necessario aggiungere, a questa discussione in fase di approfondimento, il ruolo del sistema visivo e vestibolare sul controllo posturale e sulle modificazioni indotte dal trauma. Tutto ciò renderebbe in questa fase la discussione troppo complessa, non permettendo di proporre concretamente un progetto di ricerca. Un esempio della stretta relazione tra i diversi sistemi è, ad esempio, l'articolo pubblicato da Heikkilä e. a. <sup>44</sup> dove le modificazioni della propriocezione cervicale e le limitazioni nel movimento cervicale possono provocare una disfunzione oculomotoria. Jull e.a. <sup>45</sup> mostrano che le variazioni al sistema motorio del collo avvengono anche nelle persone che hanno subito lievi traumi persistono per almeno tre mesi pur indicando che l'alterazione propriocezionale periferica era presente solo nei casi più severi. Anche se non è stato menzionato dagli stessi autori questa modificazione motoria, alla luce delle conclusioni di Brumagne e.a. <sup>11</sup> nell'articolo sul dolore lombare, potrebbe rispecchiare un adattamento centrale indotta dal trauma. **Qui credo che veramente ci possa essere uno spazio importantissimo da sfruttare in futuro. Gli autori Australiani non sembrano considerare sufficientemente il ruolo centrale del SNC e interpretano le modificazioni motorie solo attraverso le espressioni biomeccaniche periferiche, senza spiegare su che base queste si modificano. Comprendere l'influenza del trauma sul controllo posturale e motorio e qual'è il ruolo di questa modificazione sulla cronicizzazione dei sintomi associati ad un colpo di frusta, è fondamentale per una eventuale proposta riabilitativa. Il contatto con Brumagne, che ragiona in questa direzione, e la presenza di un laboratorio di fisiologia umana a Genova, che ha già fatto questo tipo di ricerca, non può che aiutarci nella realizzazione del progetto.**

## 7. Conclusioni

La conclusione svolge il compito di collegare il filo dell'intera discussione. In questa sede partirò dall'obiettivo della tesi, che parlava della realizzazione di un punto di partenza per un eventuale progetto di ricerca. A tal fine elencherò alcune osservazioni che aiuteranno a delimitare il campo di ricerca.

1. Riteniamo che le possibilità siano principalmente da ricercare nell'analisi delle modalità di attivazione muscolare, le quali vengono indicate da molti autori come il fattore eziologico rilevante per una eventuale cronicizzazione del problema cervicale.
2. Dobbiamo trovare dei campi di studio non ancora sufficientemente approfonditi. L'analisi dei muscoli non ancora analizzati dal gruppo australiano potrebbe essere una di queste vie. A mio avviso però non sono sufficienti a creare delle vere basi di ricerca che ci permettano uno sviluppo tale da diventare in futuro un riferimento per questo campo. Abbiamo bisogno di una ipotesi più ampia.
3. In oltre dobbiamo trovare il modo di giustificare una collaborazione con la VUB. A questo proposito nulla dobbiamo inventare ma che il nostro compito sia anche quello di essere attenti all'indirizzo preso dalla stessa VUB (principalmente artrocinematica e anatomia applicata).
4. Dobbiamo trovare dei progetti realizzabili all'interno della nostra università.
5. L'ultima necessità, forse la più importante, è quella di realizzare una ricerca che sia di rilevanza clinica per la nostra attività professionale come fisioterapisti.
6. Il distretto cervicale sembra essere quello che offre maggiori prospettive di ricaduta clinica e di immagine delle ricerche condotte, oltre ad essere un distretto che ha costituito un campo preferenziale dal punto di attività professionale per alcuni di noi e argomento di trattazione didattica nel master.
7. L'analisi delle modalità di attivazione muscolare, le quali vengono indicate da molti autori come il fattore eziologico rilevante per una eventuale cronicizzazione del problema cervicale potrebbero essere le variabili più interessanti da investigare.

8. Dobbiamo trovare dei campi di studio non ancora sufficientemente approfonditi. L'analisi dell'attività e della funzione di muscoli non ancora investigati dal gruppo australiano potrebbe essere uno di questi. Ritengo comunque che ciò non sia sufficiente e che sia necessaria una ipotesi di più ampio respiro per creare una linea di ricerca che ci permetta in futuro, se riusciremo a realizzare i progetti, di diventare punto di riferimento in questo campo.
9. Risulta strategicamente fondamentale coinvolgere nel/i progetti la VUB, ad esempio ponendo attenzione, in fase di progettazione, al patrimonio di conoscenze e di expertise tecnologica che il gruppo della VUB ha sviluppato (principalmente artrocinematica e anatomia applicata).
10. E' altrettanto strategicamente importante ideare progetti che possano destare interesse all'interno dell'università di Genova, in modo che eventuali sinergie con docenti strutturati possano permetterci di ottenere dei finanziamenti.
11. L'ultima necessità, forse la più importante, è quella di realizzare una ricerca che sia di rilevanza clinica per la nostra attività professionale come fisioterapisti.

*L'analisi della integrazione della propiocezione ed il controllo posturale potrebbe diventare il nostro campo di ricerca. Credo che, analizzare le disfunzioni dell'apparato muscoloscheletrico attraverso una ricerca neurofisiologica sia strategicamente di supporto alla VUB, in quanto questa collaborazione migliorerebbe la comprensione del controllo del movimento e permette di migliorare la pianificazione del trattamento riabilitativo. Grazie alla sinergia tra l'interpretazione anatomo-biomeccanica e l'interpretazione neuromuscolare del movimento il campo è quindi unico. QUESTO E' LA SINGOLARITA' DEL PROGETTO!!!!!!!!!!*

La lettura critica della letteratura che ho affrontato negli ultimi mesi mi ha permesso di giungere alle seguenti conclusioni, che sono in gran parte compatibili con le necessità espresse poco sopra:

- Il colpo di frusta sembra essere il disordine più interessante da approfondire perché la letteratura offre, attraverso la classificazione del grado e l'individuazione dei fattori esterni, una maggiore possibilità di standardizzazione della ricerca e di selezione del campione. Ritengo che il grado II <sup>51</sup> di sintomi associati al colpo di frusta conferisca il quadro clinico più appropriato alla ricerca, perché, pur limitandosi alla presenza di dolore cervicale e segni muscoloscheletrici senza la presenza di sintomi neurologici risulta meglio definibile (essendo conseguenza di un evento traumatico come il colpo di frusta) rispetto a quello di un dolore cervicale aspecifico, che ha una eziopatogenesi complessa.

- Le diverse reviews e gli RCT presenti in letteratura assegnano all'esercizio muscolare una grande rilevanza. La miglior comprensione delle strategie motorie utilizzate su persone sane e le modifiche indotte da un trauma sono aspetti fondamentali per la programmazione dell'atto riabilitativo. Diversi autori hanno evidenziato una variazione dell'attività muscolare in pazienti con dolori cervicali. Brumagne e.a <sup>11</sup> ha ipotizzato che questa modificazione della strategia motoria si basa sulla sensibilità propriocettiva del SNC. Cioè la capacità del SNC di porre maggiore attenzione alle informazioni propriocettive provenienti da un distretto rispetto ad un altro. La strategia motoria verrebbe costruita anche su questa capacità/possibilità.

- In questo ordine di idee possiamo ipotizzare che il dolore cervicale presente dopo un trauma da contraccollo induca il SNC a non utilizzare le informazioni propriocettive provenienti dal tratto cervicale e gestisca il proprio equilibrio soprattutto attraverso le afferenze di altri distretti. Una modificazione verso una postura "piede guidato" confermerebbe l'ipotesi portata da Moseley <sup>1</sup>, che mette in relazione la disfunzione muscolare del tratto lombare con il tratto cervicale. Se questa modifica è presente anche in pazienti che soffrono di sintomi cronici associati al colpo di frusta si potrebbe ipotizzare che queste modificazioni siano alla base della

persistenza dei sintomi. Ritengo inoltre che nella stessa ricerca ci sia spazio per l'utilizzo dell'elettromiografia di superficie perché permetterebbe di valutare le modificazioni muscolari durante i movimenti attivi degli arti. Il contributo della VUB potrebbe essere collocato nell'ambito sopra descritto tramite un'analisi dell'artrocinematica del tratto cervicale, dove la VUB è precursore, permettendoci di pesare meglio il valore delle eventuali modifiche indotte dal SNC dopo un colpo di frusta. La ricerca sviluppata dal gruppo Australiano sembra presentare un limite a questo proposito: quando una instabilità articolare si possa definire tale e quanto questa dipenda dalle modificazioni muscolare sono aspetti poco chiari.

- Il ruolo dei muscoli sopra e sotto-ioidei potrebbe costituire un argomento per una delle possibili indagini.

- Pedana stabilometrica (che potrebbe essere fornita in comodato da Alphamed) e pedana vibratoria (posseduta da VUB e da Leuven) potrebbero essere utili strumenti di valutazione e intervento terapeutico a supporto di ulteriori lavori sperimentali.

In sintesi:

Al termine del mio lavoro di revisione credo sia di particolare interesse per il nostro gruppo attivare una linea di ricerca sul trauma da contraccollo, riguardante i pazienti con sintomatologia associata di secondo grado, nella quale si vuole comprendere le modificazioni indotte dal trauma sulla propriocezione periferica, sul controllo motorio del tratto cervicale, sul controllo posturale e sul controllo motorio in altri distretti, ipotizzando che le modificazioni, principalmente legate alle scelte del SNC sulle diverse afferenze propriocettive, rappresentino un fattore eziologico importante per la cronicizzazione del colpo di frusta e il conseguente coinvolgimento di altre strutture nel quadro algico disfunzionale.

## **Referenza Bibliografica**

1. Moseley GL,  
Impaired trunk muscle function in sub-acute neck pain: etiologic in the subsequent development of low back pain? Manual Therapie, Vol 9: N 3, 157-163, 2004
2. Ivan Bautmans,  
The muscle function in elderly persons: influence of pathology, inflammation and exercise ,  
Lezione magistrale, Savona , 2005.
3. Bekkering Ge; Hendriks HJM; Lanser K; Oostendorp RAB; Scholten-Peeters GGM; Verhagen AP;  
van der Windt DAWM,  
Clinical practice guidelines for physical therapy in patient with whiplash-associated disorders,  
KNGF: linee guida dell'associazione Olandese di fisioterapia, 2003.
4. Rodriquez AA; Barr KP; Burns SP,  
Whiplash: pathophysiology, diagnosis, treatment and prognosis, Muscle & Nerve, 29: 768-781,  
2004.
- 5 Loudon JK; Ruhl M; Field E,  
Ability to reproduce head position after whiplash injury, Spine Apr 15; 22(8): 865-868, 1997.
6. Hodges PW; Moseley GL,  
Pain and control of the lumbopelvic region : effect and possible mechanisms, Journal of  
Electromyography and Kinesiology, 13: 361-370, 2003.
7. Baeyens JP,  
Lezione magistrale, 19 dicembre 2004
8. Horak FB; Henry SM; Shumway-Cook A,  
Postural Perturbations: New insights for treatment of balance disorders, Physical Therapy, Vol  
77, N 5, 517-533, 1997.
9. Gandavia SC,  
Kinesthesia: roles for afferent signals and motor commands. In : Handbook of Physiology,  
Section 12, Exercise: Regulation and integration of multiple systems. Rowell LB, Shepard JT( ed), New York: Oxford university press, 1996.
10. Sterling M; Jull G, Wright A,  
The effect of musculoskeletal pain on motor activity and control, The Journal of Pain, Vol 2, No  
3: p. 135-145, 2001.

11. Brumagne S; Cordo P; Verschueren S,  
Proprioceptive weighting in persons with low back pain and elderly persons during upright standing, Neuroscience Letters, 366: 63-66, 2004.
12. Allum JHJ; Bloem BR; Carpenter MG; Hulliger M; Hadders-Algra M,  
Proprioceptive control of posture: a review of new concepts, Gait and Posture, 8:214-242, 1998.
13. Hodges PW; Gurfinkel VS; Brumagne S; Smith TC; Cordo PC,  
The inverted pendulum model of postural control overlooks the multi-segmental nature of the body: evidence from postural compensation for respiration, Int Soc for Postural and Gait Research, 290-293,
14. Morasso PG; Schieppati M, Can muscle stiffness alone stabilize upright standing? Journal of Neurophysiology, 83: 1622-1626, 1999.
15. Hodges PW; Gurfinkel VS; Brumagne S,  
Coexistence of stability and mobility in postural control: evidence from postural compensation for respiration, Exp brain res, 144: 293-302, 2002.
16. Winter DA; Patla EP; Ishac M; Gage H,  
Motor mechanisms of balance during quiet standing, 13, 49-56, 2003.
17. Winter DA; Patla AE; Rietdyk S; Ishac MG,  
Ankle muscle stiffness in the control of balance during quiet standing, J Neurophysiology, 85: 2630-2633, 2001.
18. Go Y; Challis JH; Newell KM,  
Postural coordination patterns as a function of dynamics of the support surface, Human movement science, 20: 737-764, 2001.
19. Henry SM; Fung J; Horak FB,  
EMG response to maintain stance during multidirectional surface translations, J Neurophysiology 80: 1939-1950, 1998.
20. Taylor JL; McCloskey,  
Illusion of head and visual target displacement induced by vibration of neck muscles, Brain, 114: 755-759, 1991.
21. Karnath HO, Reich E, Rorden C, Fetter M, Driver J.,  
The perception of body orientation after neck-proprioceptive stimulation. Effects of time and of visual cueing, Exp Brain Res, 143(3):350-8, 2002.
22. Biguer B; Donaldson; Hein A; Jeannerod M,  
Neck muscle vibration modifies the representation of visual motion and direction in man, Brain, 111: 1405-1424, 1988.

23. Cordo BP; Carton L; Carlton M,  
Proprioceptive coordination of movement sequences: Discrimination of joint angle versus angular distance, J of Neurophysiology, 71: 5, 1862-1871, 1994.
24. Koskimies K; Sutinen P; Aalto H; Starck J; Toppila E; Hirvonen T; Kaksonen R; Ishizaki H; Pykkö I  
Postural stability, neck proprioception and tension neck, Acta otolaryngol; suppl 529: 95-97, 1997.
25. Bove M; Courtine G; Schieppati M,  
Neck muscle vibration and spatial orientation during stepping in place in humans, J Neurophysiology 88: 2232-2241, 2002
26. Gordon J; Ghilardi MF; Ghez C,  
Impairment of reaching movement in patient without proprioception I. Spatial errors, J of Neurophysiology, 73: 1, 247-360, 1995.
27. Gordon J; Ghilardi MF; Ghez C,  
Impairment of reaching movement in patient without proprioception I. Spatial errors, J of Neurophysiology, 73: 1, 361-371, 1995.
28. Hellström F; Thunberg J; Bergenheim M; Sjölander P; Djupsjöbacka M; Johansson H,  
Increased intra-articular concentration of bradykinin in the temporomandibular joint changes the sensitivity of muscle spindles in dorsal neck muscles in the cats, Neuroscience Research, 42: 91-99, 2002.
29. Bard C; Fleury M; Teasdale N; Pailard; Nougier V,  
Contribution of proprioception for calibrating and updating the motor space, Can J Physiol pharmacol., 73: 246-254, 1995.
30. Richardson C; Jull G; Hodges P; Hides J,  
Therapeutic exercise for spinal segmental stabilization in low back pain: scientific basis and clinical approach, Churchill livingstone, Edinburgh, 1999.
31. Richardson C; Hodges P; Hides J,  
Therapeutic exercise for lumbopelvic stabilization: A motor control approach for the treatment and prevention of low back pain, Churchill livingstone, Edinburgh, 2004.
32. Wenngren B; Pedersen J; Sjölander P; Bergerheim M; Johansson H,  
Bradykinin and muscle stretch contralateral cat neck muscle spindle output, Neuroscience Research , 32 : 119-129, 1998.
33. Hodges PW,  
Changes in motor planning of feedforward postural responses of trunk muscles in low back pain, Exp Brain Res, 141: 261-266, 2001.

34. Johansson H; Sojka P,  
Pathophysiological mechanism involved in genesis and spread of muscular tenion in occupational mescle pain and chronic musculoskeletal pain syndrome: a hypotesis, Med Hypothesis, 35(3): 196-203, 1991
35. JP Lund; Donga R; Widmar CG; Stohler CS,  
The pain-adaptation model: a discussion of the relationship between chronic musculoskeletal pain and motor activity, Canadian Journal of Physiology and Pharmacology, 69: 683-694, 1991
36. Gandavia SC; Allen GM; Butler JE; Taylor JL,  
Supraspinal factors in human muscle fatigue: evidence for suboptimal output from the motor cortex, Journal of physiology, 490: 529-536, 1996.
37. Zedka M; Chan M; Prochazka A;  
Voluntary control of painful muscles in humans In :Richardson C; Hodges P; Hides J, Therapeutic exercise for lumbopelvic stabilization: A motor control approach for the treatment and prevention of low back pain, Churchill livingstone, Edinburgh, p.130, 2004.
38. Arendt-Nielsen L; Graven-Nielsen T, Svarrer H; Svensson P,  
The influence of low back pain on muscle activity and coordination during gait: a clinical and experimental study, Pain 64: 231-240, 1996.
39. Hides JA; Richardson CA; Jull GA,  
Multifidius muscle recovery is not automatic after resolution of acute first-episode low back pain, Spine, Vol 21: N 23, pp. 2763-2769, 1996.
40. Boyd-clark C; Briggs A; Galea MP,  
Muscle spindle distrubution, morphology, and density in longus colli and multifidiusmuscles of the cervical spine, Spine, Vol 27: N7, pp.694-701, 2002.
41. Boyd-clark C; Briggs A; Galea MP,  
Comparative histochemical composition of muscle fibers in a pre-and postvertebral muscle of the cervical spine, Anat., 199. pp. 709-716, 2001.
42. Bautmans I,  
Lezione magistrale: The muscle function in elderly persons: influence of patology, inflammation and exercise, Savona, 7-gennaio 2005.
- 43 Falla D, Jull G, Hodges PW.  
Feedforward activity of the cervical flexor muscles during voluntary arm movements is delayed in chronic neck pain.Exp Brain Res, 157(1):43-8. 2004.
44. Heikkilä HV; Wenngren B,  
Cervicocephalic kinesthetic sensibility, active range of cervical motion, and oculomotor function in patients with whiplash injury, Arch Phys Rehabil, Vol 79, 1089-1094, 1998.

- 45 M. Sterling; Jull G; Vincenzino B; Kenardy J; Darnell R,  
Development of motor system dysfunction following whiplash injury, Pain, 103: p. 65-73.
46. Falla D; Jull G; Dall'Alba P; Rainoldi A; Merletti R,  
An Electromyographic analyses of the deep cervical flexors muscles in performance of craniocervical flexion, Physical Therapy, Vol 83, 2003.
47. Falla D, Rainoldi A, Merletti R, Jull G  
Spatio-temporal evaluation of neck muscle activation during postural perturbations in healthy subjects , J Electromyogr Kinesiol: 4(4):463-74, 2004.
- 48 Bove M, Brichetto G, Abbruzzese G, Marchese R, Schieppati M  
Neck proprioception and spatial orientation in cervical dystonia, Brain, 127(Pt 12):2764-78, 2004.
- 49 Loudon JK; Ruhl M; Field E,  
Ability to reproduce head position after whiplash injury, Spine, 15: 22 (8): 865-868, 1997.
- 50 Matre DA; Sinkjaer T; Svensson P; Arendt-Nielsen L,  
Experimental muscle pain increases the human stretch reflex, Pain, 75: 331-339.
-